

# ニューマチックケーソンの情報化施工

近藤 次郎 芳賀 孝成  
崎本 純治

## Realtime Construction Control of a Pneumatic Caisson

Jiro Kondo Takashige Haga  
Junji Sakimoto

### Abstract

A pneumatic caisson was selected as the main foundation for the Sakitama Bridge, a cable-stayed structure of length of 380 m. Realtime construction control was performed during construction, measuring earth and water pressures, peripheral surface frictions, cutting edge reactions, air pressure in the excavation chamber, and the inclination of the caisson itself. As a result, the caisson was constructed with good precision in the limited amount of time available. This report describes the method of realtime construction control for a pneumatic caisson and also comments on the data measured.

### 概要

長さ 380 m の斜長橋、幸魂橋<sup>さきたま</sup>の主塔基礎として平面 22×26 m、深さ 26 m のニューマチックケーソンが採用された。この工事ではケーソンに加わる土・水圧、周面摩擦力、刃口反力、作業室内気圧、躯体傾斜などの計測結果を施工にフィードバックする、すなわち情報化施工を採用した結果、限られた期間内に精度よくケーソンを沈設することができた。この報告はこのニューマチックケーソンの情報化施工の手法について述べ、更に、得られたデータについて検討を加えたものである。

### 1. まえがき

現在建設が進められている東京外郭環状道路（略称：東京外環）は、都心から約 15 km 圏をめぐる延長約 85 km の環状道路である。幸魂橋<sup>さきたま</sup>はこの路線で一級河川荒川を横断し、戸田市と和光市を結ぶ橋梁で、河川内の橋長が 1,496 m におよぶ長大橋である。このうち、中央の斜長橋（長さ 380 m）の主塔基礎となる P<sub>12</sub> 橋脚の下部工（図-1 参照）として、平面 22×26 m、深さ 25 m のニューマチックケーソン基礎が採用された。

この報告はニューマチックケーソンの施工に際して実施した情報化施工について述べ、さらに得られた計測結果について検討を加えたものである。

### 2. 施工地盤

施工現場は埼玉県戸田市美女木地先の荒川河川敷内である。この地域は荒川低地と呼ばれる沖積低地で、軟弱な沖積層が厚く分布している。地盤構成は地表部から TP-20 m 付近まで軟らかい粘土（有楽町層）、TP-33 ~ 35 m 付近まで砂と粘土の互層（7号地層）、その下方では砂礫、砂、粘土の互層（東京層）となっている。図一

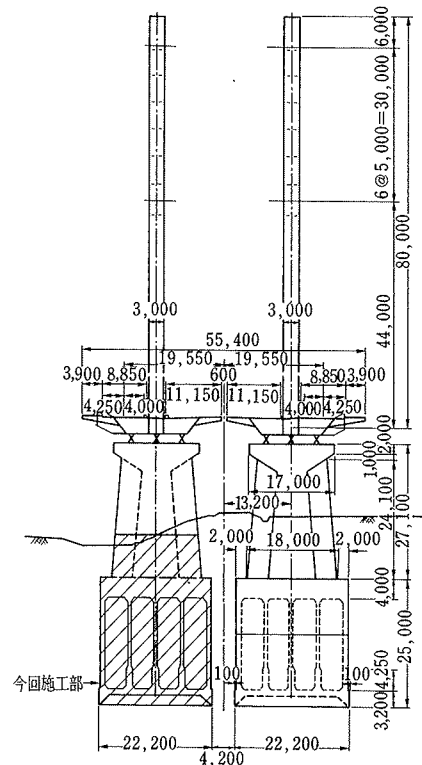


図-1 幸魂橋主塔正面図

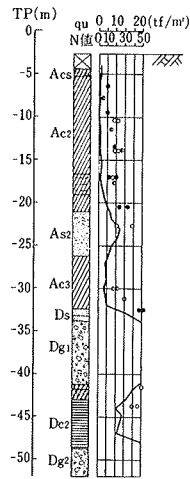


図-2 施工地盤

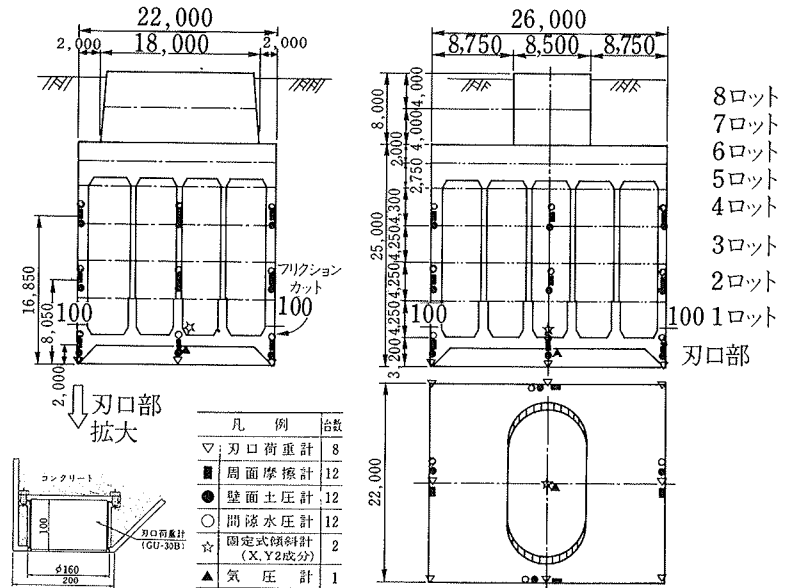


図-3 計器配置図

2にボーリング結果及び一軸圧縮試験結果を示す。

### 3. 計測

#### 3.1. 計測項目

図-2に示すようにN値が0～2の軟弱な粘性土が厚く堆積しているため、ケーソンの沈設に際して過度な沈下や傾斜が心配された。また、河川敷内の工事であるため施工期間を渇水期の11月から翌年の5月までの7箇月間に制限されていた。このため、今回の施工ではケーソンの挙動をリアルタイムで把握、ただちに施工にフィードバックさせる「情報化施工」を行なうことにした。

計測項目は、ケーソンに作用する外力及びケーソンの傾斜量で、表-1に示すように、刃口反力、周面摩擦力、土・水圧、作業室内気圧、及びケーソンの傾斜量である。また、図-3に計器の配置位置を示しておいた。

#### 3.2. 計測システム

計測システムは、図-4に示すように、パソコンを用いて構成した。計測頻度は原則として掘削休止時には1日1回、掘削時は4時間に1回、コンクリート打設時には1時間に1回とした。また、計測は定時計測以外の任意の時刻でも可能なシステムとした。

計測データは、プロッター、プリンターへの出力のほか、図-5に示すように、CRT画面にもケーソンの傾斜及び刃口反力の状態を常時表示させておいた。図-5の表示のなかで「変位」はA点を基準とした相対鉛直変位を示すもので、刃口天井スラブの中央部に設置したX, Y2成分の固定式傾斜計によって計測した傾斜角度(ラジアン)に各辺の長さを乗じて算出したものである。このCRT画面は計測終了後、現場計測室内でただちに出力されるので、計測結果の施工への速やかなフィードバック

計測項目	計測目的	計器名称	仕様	数量(台)			
				刃口部	周面	壁面	合計
掘削に作用する外力	刃口反力	刃口荷重計	型式 GU-30B 容量 30kgf/cm <sup>2</sup> 東横エレクトロニクス	8	—	—	8
	周面摩擦	周面摩擦計	型式 GFM-10S 容量 10tf/m <sup>2</sup> 坂田電機	4	4	4	12
	土圧	壁面土圧計	型式 EEP-S106A 坂田電機	4	4	4	12
	水圧	間隙水圧計	型式 EPP-S106A 容量 5kgf/cm <sup>2</sup> 坂田電機	4	4	4	12
作業室内気圧	沈設管理	気圧計 (間隙水圧計)	型式 EPP 5005 容量 5kgf/cm <sup>2</sup> 坂田電機	1	—	—	1
姿勢傾斜	ケーソン沈設時の姿勢制御 適切な掘削方法の把握	固定式傾斜計	型式 EIN 5005 容量 ±50分 坂田電機	2	—	—	2

表-1 計器一覧表

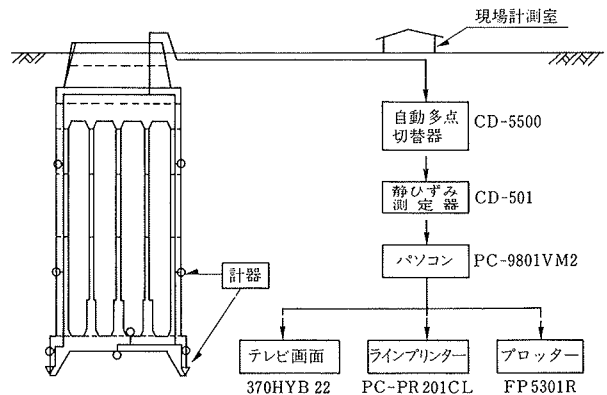


図-4 計測システム

クに非常に有効であった。

#### 4. 結果の検討

##### 4.1. 作業室内気圧

図一六に刃口深度と作業室内気圧の関係及び刃口地盤の平均水圧（ケーソン先端部外側に取付けた4つの間隙水圧計の実測値の平均値）を示す。この図から刃口地盤の平均水圧はほぼ静水圧に等しい分布形状を示しており、また、作業室内気圧は全沈設期間を通じて、この水圧とほぼ等しい圧力に保たれていたことがわかる。

以上のように、刃口地盤の実測水圧を参考にして作業室内の気圧をなるべく小さく抑え、作業能率及び安全性の面で良好な作業環境を確保することができた。

##### 4.2. 刃口反力度

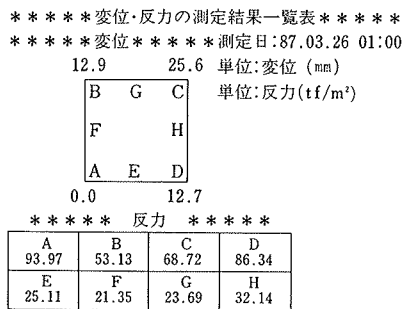
図一七に刃口反力度（8点の平均値）と刃口深度の関係を示す。刃口反力度は、粘性土層で小さく、砂質土、砂礫層で大きくなる傾向を示している。また、図一八は、刃口先端地盤の平面的な不均一による刃口反力度の発生の違いを示したもので、この図からも、刃口反力度が地盤の硬軟に対応して発生していることがわかる。

表一2は各土層で発生した刃口反力度の最大値を示したもので、隅角部及び辺中央部にわけて示している。刃口反力度は、刃口部付近の地盤の掘削面の形状によって異なる。図一9は、刃口部付近の掘削面を地盤ごとに模式化したもので、軟弱層ではA面までの掘削で、沈設後半になると刃口部付近まで掘りすすんだC面までの掘削で沈設している。

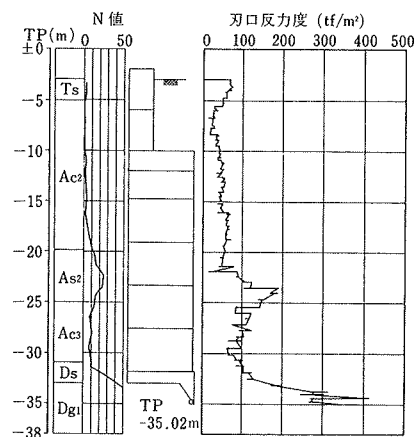
図一10は刃口反力度の平面分布の一例を示したものである。刃口反力度は、各地盤とも隅角部で大きく、辺中央部で小さい傾向を示した。隅角部は辺にくらべて土の掘り残し部分が多い。このため、刃口の貫入深度が同じであっても、支持力は拘束力の高い隅角部の方が大きくなったものと思われる。

地盤	N 値	隅角部(tf/m <sup>2</sup> )	辺中央部(tf/m <sup>2</sup> )
Ts	0~2	88	59
Ac2	1~4	103	50
As2	12~24	263	88
Ac3	8~10	235	91
Dg1	50以上	913	264

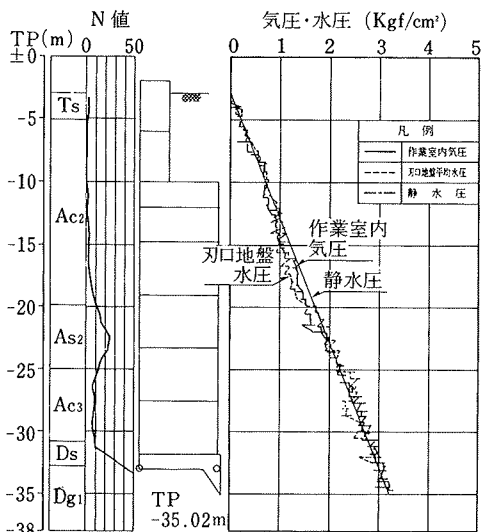
表一2 土層ごとの刃口反力度最大値（計器4台の平均値）



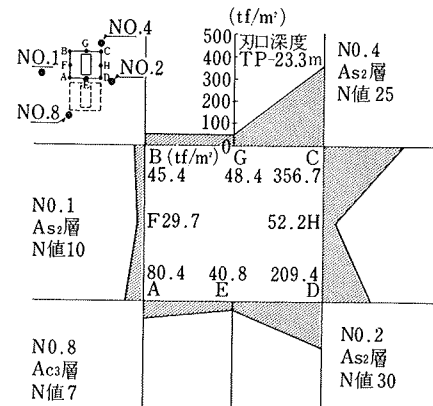
図一5 CRT画面の出力



図一7 刃口深度一刃口反力度関係図



図一六 刃口深度一作業室内気圧・刃口地盤平均水圧



図一八 刃口反力度平面分布図

4.3. 周面摩擦力度

図-11に刃口深度とケーソン刃口、2ロット部及び3ロット部に働く周面摩擦力度の関係を示す。同図には道路橋示方書の提案式で設定した設計周面摩擦力度も併記しておいた。全沈設区間にわたって両者を比較すると、実測周面摩擦力度の最大値は設計値の約2倍近い値を示している。また、実測値のうち刃口部の周面摩擦力度が最も大きく、フリクションカット部上方の2ロット、4ロット部の値の1~2倍程度となっている。

図-12は刃口部における周面摩擦力度一有効土圧一傾斜の関係の一例を示したものである。ここで、有効土圧は、同じ位置に設置した土圧計と間隙水圧計の出力の差である。この図からわかるように、周面摩擦力度は有効土圧、傾斜と密接な関係がある。つまり、ケーソンが負の方向(F側がH側に対して相対的に下がる)に傾斜すると、回転中心が刃口部の計器位置より上方にあるため、H側は土を押し込み、有効土圧は増える。F側は逆の現象で有効土圧は減る。この有効土圧の増減に対応して周面摩擦力度も増減していることがわかる。

4.4. 沈下管理結果

ケーソンの沈下は式(1)が成立するときには生ずるが、安定した沈下を図るためには単に、沈下荷重が沈下抵抗力

を越えれば良いということではない。

$$W_c + W_s > U + F + R \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに  $W_c$ : ケーソン本体重量  
 $W_s$ : ケーソンに載荷する沈下荷重  
 $U$ : 作業室内揚圧力(気圧)  
 $F$ : 周面摩擦力  
 $R$ : 刃口反力

つまり、沈下荷重が沈下抵抗力を大きく越える場合は過沈下の対策が必要になり、逆に沈下抵抗力が沈下荷重を大きく越える場合は刃口の土の掘削による刃口反力の低減だけでは対応できなくなり、周面摩擦力の低減などによって沈下抵抗力を減少させるか、水荷重などの沈下力を増大させるなどの補助工法が必要となる。したがってケーソンの沈下管理は、U、F、Rの沈下抵抗力を計測によって評価し、沈下荷重とバランスの取れた施工を行なうことになる。

図-13はこれらの計測結果をもとに沈設終了までの

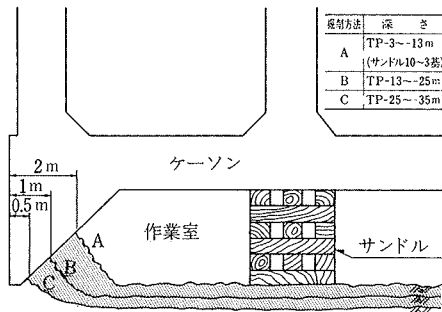


図-9 掘削方法

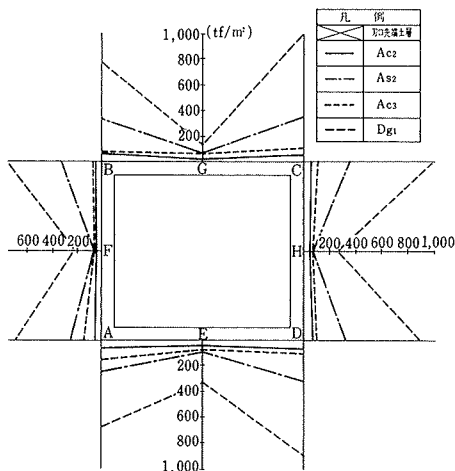


図-10 土層と刃口反力度の関係

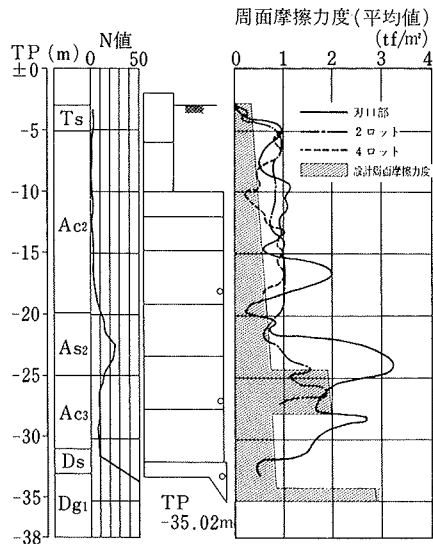


図-11 刃口深度一周面摩擦力関係図

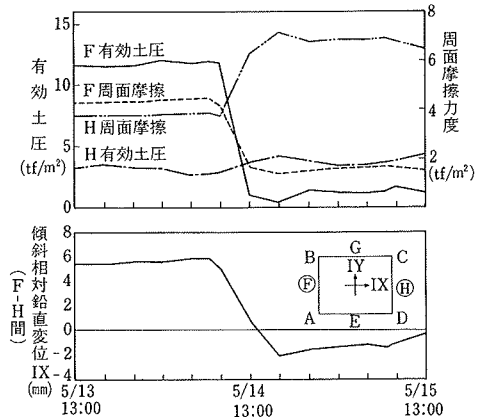


図-12 周面摩擦力度一有効土圧一傾斜関係図

挙動をまとめたものである。ここで、R、Fの算定には、刃口反力度が作用する刃口幅として20 cm、周面摩擦力度として各深度に取付けた周面摩擦計出力の平均値を用いている。図より沈設初期には、沈下荷重が沈下抵抗力を大きく越えているのがわかる。なお、この時期には、過沈下の対策として、長さ1.5 mの尺角材を格子状に6段組んだサンドルを10基設置し(図-9参照)刃口部の土を図-9に示すように多く掘り残して安定沈下を図った。また、沈下荷重よりも沈下抵抗力が大きくなる7ロット、8ロット、床付け付近の一部の区間については刃口反力を小さく押える掘削方法に加えて減圧工法も採用して沈下を進めた。このような沈下管理を実施した結果予定どおり約4箇月で沈設を終了することができた。

#### 4.5. 姿勢管理

図-13に沈設時の傾斜(鉛直相対変位)記録を示す。傾斜は刃口深度が浅い沈設の初期に大きく、刃口深度が深くなるにしたがって小さくなっている。また、傾斜の角度が正負を交互に繰り返していることから、ケーソン躯体は前後左右に傾きながら沈設されていることがわかる。これは傾斜を小さく納めるように掘削管理した結果生じた挙動である。ケーソン躯体の姿勢の修正は、図-5に示すように事務所内に設置したCRT出力からケーソンの傾斜方向を速やかに把握し、傾斜方向と反対側の地盤を片掘りする方法で行なった。図-5の例では、C点の位置がA点の位置より相対的に高いことから、BDを境にしてC点側を掘削することになる。こうした管理方法によって最終床付け時の傾斜は、橋軸方向で鉛直相対変位17 mm( $0.65 \times 10^{-3}$  ラジアン)、橋軸直角方向で鉛直相対変位4 mm( $0.18 \times 10^{-3}$  ラジアン)と小さい傾斜量に納めることができた。また、水平方向の変位は橋軸方向に35 mm、橋軸直角方向に32 mmと非常に良好な設置精度を確保することができた。

#### 5. あとがき

今回のP<sub>12</sub>橋脚(下り線)の施工においては、各種計器を用いた情報化施工を実施した。パソコンを用いた計測

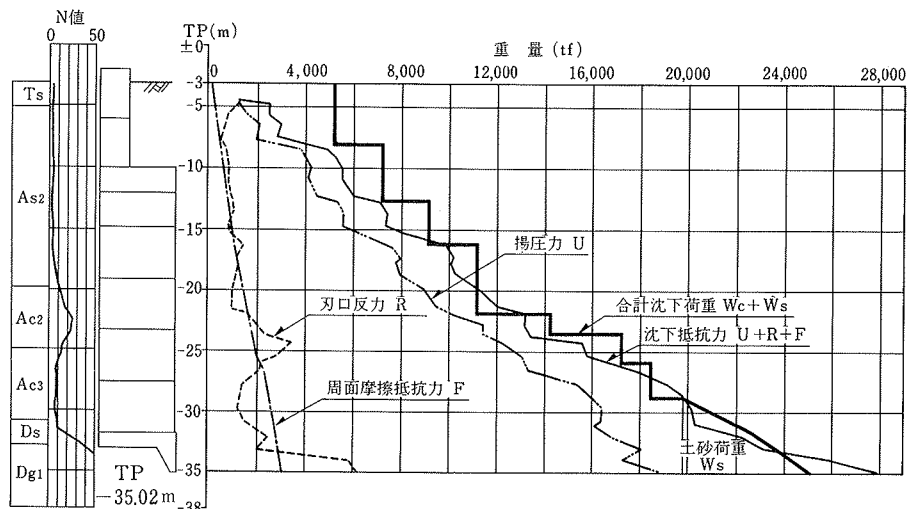


図-13 荷重-沈下関係図

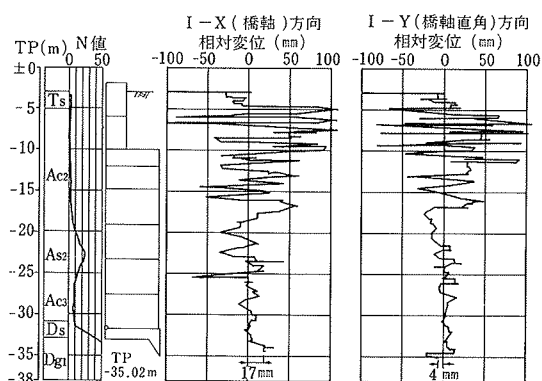


図-14 刃口深度-傾斜関係図

システムの導入により、計測データの即時処理が可能となり、時々刻々のデータをブラウン管上に表示することによって、その時点のケーソンの状態を適確に把握することができた。この結果、沈下予測、傾斜に対する適切な掘削方法などが早期に判断でき、ケーソンを所定の工期内に、しかも、きわめて高い設置精度で無事沈設完了することができた。また、今後の設計に反映する資料として周面摩擦力、刃口反力、傾斜などに関する重要なデータを入手することができた。今後、こうした計測データを蓄積、評価することによって、合理的、経済的なケーソンの設計が可能となり、また、本当の意味での計測による自動管理施工につながっていくものと期待される。

最後に、この報告をまとめるにあたり、適切な指導をしてくださった、建設省北首都国道工事事務所及び大林組幸魂橋工事事務所の関係各位に深甚なる謝意を表す。